

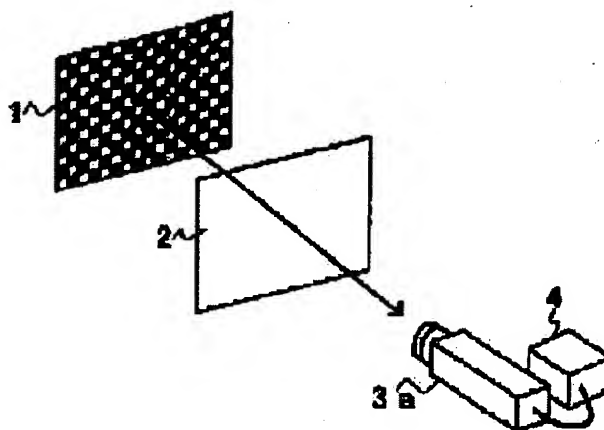
METHOD AND DEVICE FOR EVALUATING SURFACE SHAPE

Patent number: JP11148813
Publication date: 1999-06-02
Inventor: KURUMISAWA MAKOTO; SONDA YOSHIYUKI; KATO MUNEHISA
Applicant: ASAHI GLASS CO LTD
Classification:
- **International:** G01B11/30; G01B11/30; G01B11/24
- **European:**
Application number: JP19980192393 19980623
Priority number(s): JP19980192393 19980623; JP19970193146 19970702;
JP19970262636 19970910

Report a data error here

Abstract of JP11148813

PROBLEM TO BE SOLVED: To detect the strain, etc., in a surface shape more precisely.
SOLUTION: A surface light source 1 irradiates glass 2 with a periodical light-shade pattern. An image of the pattern transmitted through the glass 2 is picked up by a CCD camera 3a and a signal processor 4 evaluates the surface shape of the glass 2 according to a deviation in the light-shade cycle of image pickup (deviation of the pattern irradiating the glass 2 from the light- shade cycles).



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

特開平11-148813

(43) 公開日 平成11年(1999) 6月2日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I	
G 0 1 B 11/30		C 0 1 B 11/30	C
	1 0 1		1 0 1 A
11/24		11/24	M

審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平10-192393

(22) 出願日 平成10年(1998) 6月23日

(31) 優先権主張番号 特願平9-193146

(32) 優先日 平 9 (1997) 7 月 2 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-262636

(32) 優先日 平 9 (1997) 9 月 10 日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000000044

旭硝子株式会社

東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号

(72) 発明者 棚澤 信

神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地

旭硝子株式会社内

(72) 発明者 尊田 嘉之

神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地

旭硝子株式会社内

(72) 発明者 加藤 宗寿

神奈川県横浜市鶴見区末広町 1 丁目 1 番地

旭硝子株式会社内

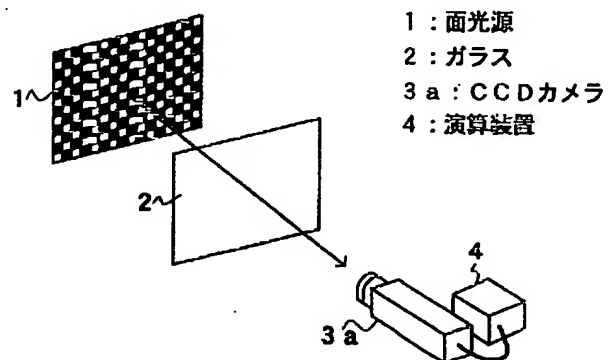
(74) 代理人 弁理士 岩壁 冬樹

(54) 【発明の名称】 表面形状の評価方法および評価装置

(57) 【要約】

【課題】 表面形状における歪み等をさらに精度よく検出したい。

【解決手段】 面光源1は、周期的な明暗を有するパターンをガラス2に照射する。ガラス2を透過したパターンはCCDカメラ3で撮像され、信号処理装置4は、撮像における明暗周期のずれ（ガラス2に照射されたパターンにおける明暗周期に対するずれ）にもとづいてガラス2の表面形状を評価する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 周期的な明暗を有するパターンを被評価物体に照射し、前記被評価物体を透過したパターンまたは反射したパターンを受光し、前記被評価物体に照射されたパターンにおける明暗周期に対する受光画像における明暗周期のずれにもとづいて前記被評価物体の表面形状を評価する表面形状の評価方法。

【請求項2】 被評価物体に照射されたパターンにおける明暗周期に対応した受光画像における領域の明暗を平均化し、平均化された信号にもとづいて前記被評価物体の表面形状を評価する請求項1記載の表面形状の評価方法。

【請求項3】 平均化された信号にもとづいて受光画像における明暗周期のずれ部分およびずれ量を測定し、測定結果にもとづいて前記被評価物体の表面形状を評価する請求項2記載の表面形状の評価方法。

【請求項4】 平均化された信号中における振幅の高い部分とその近傍の振幅の低い部分との差によって被評価物体の表面形状を評価する請求項2または請求項3記載の表面形状の評価方法。

【請求項5】 明暗周期のずれ量として平均化信号の増減の絶対値または二乗値を用いる請求項1または請求項3記載の表面形状の評価方法。

【請求項6】 被測定物の表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって、位置を特定可能な基準体の前記各反射像を観測し、前記被測定物が理想的平面を有する場合の各反射像に対する各観測反射像のずれ量を得て、前記各ずれ量から前記被測定物のうねり形状の傾きを求め、前記被測定物の表面がほぼ平坦であることを拘束条件として、前記うねり形状の傾きを積分して前記被測定物のうねり形状を求める表面形状の評価方法。

【請求項7】 基準体は、移動速度既知の運動する輝点または物点である請求項6記載の表面形状の評価方法。

【請求項8】 基準体は、周期的な明暗を有するパターンである請求項6記載の表面形状の評価方法。

【請求項9】 周期的な明暗を有するパターンを被評価物体に照射する光源と、前記被評価物体を透過したパターンまたは反射したパターンを受光する受光手段と、前記光源のパターンにおける明暗周期に対する前記受光手段による受光画像における明暗周期のずれにもとづいて前記被評価物体の表面形状を評価する評価手段とを備えた表面形状の評価装置。

【請求項10】 評価手段は、被評価物体に照射されたパターンにおける明暗周期に対応した受光画像における領域の明暗を平均化する平均化手段と、前記平均化手段

が出力する平均化信号を用いて前記被評価物体における表面形状の変形箇所と変形量とを特定するための信号を出力する処理手段とを含む請求項9記載の表面形状の評価装置。

【請求項11】 被測定物の表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能な基準体と、前記基準体の前記被測定物の表面による各反射像を得る受光手段と、前記被測定物が理想的平面を有する場合の各反射像に対する前記受光手段が得た各反射像のずれ量を算出し、前記各ずれ量から前記被測定物のうねり形状の傾きを求め、前記被測定物の表面がほぼ平坦であることを拘束条件として前記うねり形状の傾きを積分して前記被測定物のうねり形状を求める演算手段とを備えた表面形状の評価装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、透過性または鏡面性を有するガラスに代表される物体の平坦度等の表面形状の特性を評価するための評価方法および表面形状を評価する評価装置に関する。

【0002】

【従来の技術】ガラス等の板状物体の平坦度などの表面形状の特性を評価する方法として、接触式測定機による被評価物体の断面形状の測定結果にもとづいて評価する方法がある。そのような方法では、被評価物体の全面にわたって表面形状の凹凸を測定し、その測定結果にもとづいて被評価物体の平坦度などを評価することが理想的である。しかし、そのような測定方法によると評価に時間がかかるとともに多大な設備費用が要求される。そこで、実際のガラス等の生産工程では、離散的に断面部位を選択し選択された各部位について表面形状の測定を実行することが考えられる。例えば、板状物体のある方向に向かって数 m あるいはそれ以上の長さに対して1つの割りで断面部位が選定されそれらについて測定が行われることになる。

【0003】しかし、ガラスの筋状の表面変形は、短いもので例えば100～200mmといわれている。離散的な形状測定にもとづく表面形状評価によると、短い表面変形が見落とされるおそれがある。そこで、厳密な評価が求められる場合には、やはり、時間と費用をかけた評価を行わざるを得ない。

【0004】より簡便に、かつ精度よく板状物体の表面形状の特性を評価する方法として、特開平8-152403号公報に記載された方法がある。その方法では、例えば明暗が市松模様（チェッカー模様）状になっている面光源から被評価物体に光を投射し、被評価物体からの透過光または反射光をCCDカメラ等の撮像素子で受光し、受光にもとづく電気信号を処理して表面形状を評価

する。被評価物体が全く平坦であれば、受光にもとづく電気信号から得られる明暗のコントラストの状態は、既知である面光源のコントラストの状態に一致する。図28(A)は、受光パターン100、撮像素子における画素配列110および撮像素子からの明暗を示す信号120の一例を示す説明図である。被評価物体において表面変形がない場合には、図に示すように、撮像における最初の3つの検出領域において、信号120中にコントラスト変化は現れない。

【0005】しかし、被評価物体における表面変形部分からの透過光または反射光による信号120中では、コントラスト変化が生ずる。すなわち、被評価物体の表面変形部分からの受光による模様は、非変形部分からの模様と比べて、拡大していたり縮小したりしている。例えば、拡大している場合にはコントラストは大きくなるが、検出領域から模様のはみ出すことになる。

【0006】よって、図28(B)に示すように、本来の最大値部分120aと最小値部分120bとが同一検出領域に入らなくなり、検出領域内のコントラストは小さくなる。ここで、コントラストは、各検出領域において、 $(a-b)/(a+b)$ で定義される。また、縮小している場合には撮像素子で解像しきれなくなり、図28(C)に示すように、コントラストが小さくなる。従って、受光のコントラストパターンにおける白部分と黒部分との差を基準値と比較することによって、被評価物体に表面変形があるかどうか評価できる。

【0007】なお、パターンの拡大や縮小がない場合でも、受光にもとづく信号120における明部分の値が下がったり、暗部分の値が上がったりすることがある。その場合にも、所定の大きさの検出領域内の明部分と暗部分との差を基準値と比較することによって、被評価物体に表面変形があるかどうか評価できる。図28(A)において、網部分は輝度が下がった白部分であり、その部分を含む検出領域では、検出領域内のコントラストが小さくなる。

【0008】このような方法では被評価物体の透過光または反射光が電気的に処理されるので、ガラス等の板状物体の全表面にわたる表面形状を短時間で評価できる。

【0009】また、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイ等のフラットパネルディスプレイ等のガラス基板を検査する際に、表面のうねりの程度が所定値以下に収まっているかどうか確認することが要求される。表面うねり形状を測定する方法として、接触式測定装置によって測定する方法がある。接触式測定装置による方法では、ガラス表面に変位を測定するためのプローブを接触させつつ一定方向にプローブを移動させ、プローブからの変位量を入力して、表面うねり形状を測定する。

【0010】さらに、非接触式によってガラス表面のうねり形状を測定する方法も提案されている。例えば、点光源からの光をガラス表面に照射し、ガラス表面からの

反射光をスクリーンで受け、スクリーン上に形成される明暗の縞からうねり形状を求める方法がある。また、特開平9-166421号公報に開示されているように、位置情報が既知である参照パターン光をガラス表面に照射し、ガラス表面からの反射光を撮像し、反射像の歪みを解析し最適化計算によってうねり形状を求める方法もある。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図28に示されたような方法において、例えばパターンの拡大を生じさせる表面歪みが発生したとしても、拡大の態様と検出領域との関係が異なると検出領域内のコントラストが異なる。例えば、図28(D)に示すパターンと図28(E)に示すパターンとは同じように拡大しているが、検出領域への入り方が異なるので、検出領域内のコントラストには差がある。本来、受光パターンが図28(D)に示すようになった場合と図28(E)に示すようになった場合とでは同様の評価結果が得られるべきであるが、検出領域内のコントラストの相違のみにもとづいて表面形状を評価しようとする、異なる結果となってしまう可能性がある。すなわち、検出領域内のコントラストの相違のみにもとづいて表面形状の評価を行うとするには限界があるという課題がある。

【0012】また、上述したフラットパネルディスプレイ等のガラス基板の検査方法には以下のような課題がある。

(1) 接触式による測定は、プローブを順次移動させるため測定時間が長くなり、リアルタイム測定を行うのは困難である。また、プローブの接触によって被測定物を変形させてしまう可能性がある。さらに、被測定物が大きくなると装置を大がかりなものにする必要があるため、測定作業を行うことが難しくなる。

(2) 点光源からの光の反射光が与える明暗縞を解析する方法は、評価できるダイナミックレンジが小さいので、小さな凹凸と大きな凹凸を同時に測定することができないという不都合がある。

(3) 参照パターンの反射像から最適化計算によってうねり形状を求める方法は、高精度測定には向いているが、繰り返し計算を行う必要があるため計算時間が長くなる。従って、リアルタイムでうねり測定を行おうとすると、計算のシステムが大規模化する。

【0013】本発明はそのような課題に対応するためのものであり、簡便に、かつ精度よく板状物体等の表面形状を評価できる方法であって、表面形状における歪み等をさらに精度よく検出できる表面形状の評価方法および評価装置を提供することを目的とする。また、高精度でかつ短時間で被測定物の表面うねり形状を測定できリアルタイムの測定に適した表面形状の評価方法および評価装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明に係る表面形状の評価方法は、周期的な明暗を有するパターンを被評価物体に照射するステップと、被評価物体を透過したパターンまたは反射したパターンを受光するステップと、受光画像における明暗周期のずれ（被評価物体に照射されたパターンにおける明暗周期に対するずれ）にもとづいて被評価物体の表面形状を評価するステップとを備える。

【0015】表面形状の評価方法は、被評価物体に照射されたパターンにおける明暗周期に対応したサイズの受光画像における領域の明暗を平均化し、平均化された信号にもとづいて被評価物体の表面形状を評価するものであってもよい。さらに、平均化された信号にもとづいて受光画像における明暗周期のずれ部分およびずれ量を測定し、測定結果にもとづいて被評価物体の表面形状を評価するものであってもよい。

【0016】また、平均化された信号中における振幅の高い部分とその近傍の振幅の低い部分との差によって被評価物体の表面形状を評価するものであってもよい。また、明暗周期のずれ量として平均化信号の増減の絶対値または二乗値を用いてもよい。

【0017】また、本発明に係る表面形状の評価方法は、被測定物の表面における異なる地点による各反射像を形成可能な基準体であって位置が特定されうる基準体の被測定物表面の各反射像を観測するステップと、被測定物が理想的平面を有する場合の各反射像に対する各観測反射像のずれ量を得るステップと、各ずれ量から被測定物のうねり形状の傾きを求めるステップと、被測定物の表面がほぼ平坦であることを拘束条件としてうねり形状の傾きを積分して被測定物のうねり形状を求めるステップとを備えた構成であってよい。

【0018】基準体は、例えば、移動速度既知の運動する輝点または物点や、輝度ピッチ既知のストライプパターンなどの周期的な明暗を有するパターンである。なお、物点とは、点光源や照明環境下に置かれた点体などの物理的なものを意味し、輝点とは、何らかの方法で形成された高輝度点を意味する。また、理想的平面とは、うねりが全くない平面である。

【0019】本発明に係る表面形状の評価装置は、周期的な明暗を有するパターンを被評価物体に照射する光源と、被評価物体を透過したパターンまたは反射したパターンを受光する受光手段と、光源のパターンにおける明暗周期に対する受光画像における明暗周期のずれにもとづいて被評価物体の表面形状を評価する評価手段とを備えたものである。

【0020】評価手段は、被評価物体に照射されたパターンにおける明暗周期に対応したサイズの受光画像における領域の明暗を平均化する平均化手段と、平均化手段が出力する平均化信号を用いて被評価物体における表面形状の変形箇所と変形量とを特定するための信号を出力する処理手段とを含むものであってもよい。

【0021】本発明に係る表面形状の評価装置は、被測定物の表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能な基準体と、基準体の被測定物の表面による各反射像を得る受光手段と、被測定物が理想的平面を有する場合の各反射像に対する受光手段が得た各反射像のずれ量を算出し、各ずれ量から被測定物のうねり形状の傾きを求め、被測定物の表面がほぼ平坦であることを拘束条件としてうねり形状の傾きを積分して被測定物のうねり形状を求める演算手段とを備えた構成であってよい。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を説明する。図1は本発明による表面形状の評価装置の一構成例を示す構成図である。図に示すように、面光源1からコントラスト既知の明暗をもったパターンの光が被評価物体である板状のガラス2に照射される。ガラス2を透過した光は2次元撮像素子であるCCDカメラ3aで受光される。そして、CCDカメラ3aからの受光に応じた電気信号が演算装置4に入力する。演算装置4は、入力された電気信号にもとづいてガラス2の表面形状の凹凸等を評価するための信号を出力する。

【0023】図1には、ガラス2からの透過光にもとづいて被評価物体の表面形状の評価を行う評価装置が示されているが、図2に示すように、ガラス2の反射光にもとづいて表面形状の評価を行うように評価装置を構成することもできる。なお、図1、2において、面光源1から、図3に示すようなチェッカーパターンまたはストライプパターンの光がガラス2に照射される。パターンは周期的に繰り返される模様からなっているので、図3に示すような「周期」を定義する。周期の逆数は、パターンの空間周波数 f である。以下、空間周波数 f を基本周波数、その逆数を基本周期と呼ぶ。

【0024】なお、実際には透過光または反射光にもとづく撮像における基本周波数をもとに表面形状の評価が行われ、一般にCCDカメラ3aによる撮像の大きさは、面光源1におけるパターンの大きさと一致せず相似形になっている。従って、以下に説明する評価において用いられる基本周波数という概念は、厳密には、全く平坦な被評価物体を用いたときにCCDカメラ3aで撮像された透過画像または反射画像におけるパターンの空間周波数 f である。

【0025】図4は、演算装置4の一構成例を示すブロック図である。図4に示す演算装置4において、入力回路41は、CCDカメラ3aから明暗を示す画像信号を入力し、それをメモリ42に格納する。シェーディング補正回路43は、メモリ41内の画像信号についてシェーディング補正を行って、面光源1の光量分布がCCDカメラ3aの撮像に与えた影響を除去する。平均化回路44は、シェーディング補正後の各検出領域における各画素の明暗について平均化フィルタ処理を行い、最大値

抽出回路45および最小値抽出回路46に平均化された値を出力する。

【0026】ここで、平均化のための検出領域はパターンの基本周波数の逆数(基本周期)に相当している。従って、平均化回路44は、各基本周期毎に画像信号を平均化する積分型のフィルタ等で構成される。最大値抽出回路45は、平均化回路44の出力の最大値を出力し、最小値抽出回路46は、平均化回路44の出力の最小値を出力する。そして、差演算回路47は、最大値抽出回路45の出力値と最小値抽出回路46の出力値との差、および検出領域の位置を示す信号を出力する。これらの最大値および最小値は、ガラスに想定されるうねりの周期に相当する領域について抽出される。例えば、この領域の幅は基本周波数の2~10倍である。

【0027】次に、図5~図9の説明図を参照して表面形状の評価装置の動作を説明する。図5(A)は、ガラス2の全面に照射される面光源1からの光のうち、ガラス2の一断面D_nを透過してCCDカメラ3aの撮像面4aの一行に到達する光を示す説明図である。図5

(A)には帯状の一領域についてのみが示されているが、CCDカメラ3aとして2次元のものを用いた場合には、ガラス2の全ての断面を透過した光が、CCDカメラ3aの撮像面4aに一時に到達する。

【0028】図5(B)は、この実施の形態で用いられるチェッカーパターンの一部を断面D₀~D₁₄とともに示し、図5(C)は、図5(B)に示されたチェッカーパターンに対応するCCDカメラ3aの撮像面4aの様子を示す。ただし、図5(C)には、図5(B)における断面D₀~D₄に対応した部分E₀~E₄のみが示されている。また、この実施の形態では、チェッカーパターンにおける基本周期がCCDカメラ3aにおける5画素に対応するように光学系が設定されている。従って、ここでは、平均化のための検出領域は5画素で構成される。

【0029】CCDカメラ3aによる撮像は、演算装置4において、入力回路41を介してメモリ42に入力される。シェーディング補正回路43は、その時点で対象としている検出領域の前後数領域(対象としている検出領域を含む)の各画素についての画像信号の平均値を求める。例えば、図5(C)に示すE₁の列のc領域を検出領域としている場合には、E₁の列のb、c、d領域の各画素の平均値を求める。この処理によって、その検出領域周辺の背景の光量分布画像(シェーディング画像)に対応したものが得られる。もちろん、平均値をとる対象領域をさらに拡張してもよいし、E₁の列の前後の列の領域を、平均値をとる対象領域に含めてもよい。

【0030】シェーディング補正回路43は、さらに、得られた平均値で各画素の画像信号を割り算する。この結果、面光源1の面上の位置によって発光量に違いがあったとしても、その違いが撮像に与える影響は低減され

る。

【0031】なお、シェーディング補正の方法は、上述した方法に限られない。例えば、以下のような方法を用いることもできる。

(1) 上述した方法において、各領域における各画素の平均をとる代わりに、各領域における各画素の画像信号のうちの中間値を用いる。

(2) 上述した方法において、得られた平均値で各画像信号を割り算する代わりに、各画像信号から平均値を減算する。

【0032】(3) 各検出領域についてその都度シェーディング補正のための平均値を求めるのではなく、面光源1からの光を直接に受光する等の方法によって、あらかじめシェーディング画像を求めておく。そして、各検出領域についてシェーディング補正を行う際に、既に求められているシェーディング画像における画像信号を用いて割り算処理や減算処理を行う。

【0033】図6(A)、(B)、(C)の左側には、受光パターンの明暗を示す画像信号の一例が示されている。この実施の形態ではシェーディング補正回路43が設けられているので、具体的には、シェーディング補正回路43の出力信号が示されている。ガラス2が平坦である場合には受光パターンに拡大や縮小が生じないので、図6(A)に示されたように、受光パターンの周期は基本周期と一致する。

【0034】ガラス2の表面に凹凸があると、屈折作用によってCCDカメラ3aによる受光パターンにおいてパターンの拡大または縮小が現れる。例えば、表面が凸になっている部分からの透過光ではパターンの拡大が生じ、凹になっている部分からの透過光ではパターンの縮小が生ずる。その結果、図6(B)、(C)の左側に示されているように、受光パターンの周期が基本周期からずれる。よって、受光パターンにおけるパターンの周期が基本周期からずれていることを検出できれば、ガラス2の表面に凹凸があることを検出できる。

【0035】そこで、平均化回路43は、受光パターンの周期の基本周期からのずれを検出するために、検出領域中のシェーディング補正された各画素の明暗を平均化するようなフィルタ処理を行う。この実施の形態では、チェッカーパターンにおける基本周期に対応する5画素によって1つの検出領域が構成されている。従って、平均化回路43は、5画素について画像信号を平均化する。図6(A)、(B)、(C)の右側には、平均化回路44の出力信号例が示されている。受光パターンの周期が基本周期と一致しているときには、この平均化回路44は、1周期分の各信号を平均化した結果として図6(A)の右側に示すように値が一定である信号を出力する。

【0036】ガラス2の表面に凸部分がある場合には、平均化回路44の入力信号において、図6(B)の左側

に示すように山部分と谷部分とが広がり信号が現れる。また、ガラス2の表面に凹部分がある場合には、図6(C)の左側に示すように山部分と谷部分とが狭まった信号が現れる。図6(A)に示すように山部分および谷部分が変化していない信号を入力すると一定の所定値を出力する平均化回路44に、図6(B)の左側に示すような受光パターンに拡大があった場合の信号が入力されたときには、平均化回路44は、図6(B)の右側に示すように、所定値に対して凹凸が生じた信号を出力する。

【0037】また、図6(C)の左側に示すような受光パターンに縮小があった場合の信号が入力されたときにも、図6(C)の右側に示すように、所定値に対して凹凸が生じた信号を出力する。平均化回路44の入力信号において山部分と谷部分との広がりまたは狭まりの程度が大きいほど、すなわち、ガラス2の表面における凹凸の程度が大きいほど、平均化回路44の出力信号における凹凸の程度は大きい。

【0038】この実施の形態では、平均化回路44の出力を評価するために、最大値抽出回路45、最小値抽出回路46および差演算回路47が設けられている。最大値抽出回路45は、平均化回路44からの各検出領域における平均化された信号を入力し、その領域中の最大値を出力する。最大値抽出回路45は、例えば、一検出領域すなわち基本周期中の最大値を出力するフィルタで構成される。また、最小値抽出回路46は、平均化回路44からの各検出領域における平均化された信号を入力し、その領域中の最小値を出力する。最小値抽出回路46は、例えば、一検出領域すなわち基本周期中の最小値を出力するフィルタで構成される。

【0039】差演算回路47は、最大値抽出回路45の出力と最小値抽出回路46の出力との差を演算する。差演算の対象は、一検出領域内、または、近隣の複数の検出領域である。例えば、隣接する2つや3つの検出領域である。隣接する2つの検出領域を差演算対象とした場合には、2つの検出領域内での最大値と最小値との差が差演算回路47から出力される。

【0040】もちろん、平均化回路44が扱う検出領域のサイズと差演算回路47が扱う範囲のサイズとは、色々に異ならせてよい。例えば、差演算回路47が、平均化回路44が扱う検出領域の2〜10倍の大きさの範囲について最大値と最小値との差を求めるようにしてもよい。また、最大値抽出回路45および最小値抽出回路46の対象領域を、平均化回路44が扱う検出領域と異ならせるようにしてもよい。

【0041】そして、演算結果である差信号と、そのときに対象としていた検出領域の位置を示す位置信号を出力する。ガラス2の表面に歪みがない場合には、図6(A)に示すように平均化回路44の出力は一定になるので、差演算回路47が出力する差信号は値0を示す。

しかし、ガラス2の表面に凹凸がある場合には、差信号は0ではない値を示す。しかも、差信号の値は凹凸の程度に対応している。従って、差演算回路47が出力する差信号の値および位置信号にもとづいて、ガラス2の変形の程度および変形している位置を特定できる。

【0042】例えば、図28(D)、(E)に示されたような場合であっても、差演算回路47が近隣の複数の検出領域にわたって、または検出領域を越えた範囲を演算対象の範囲として最小値と最大値との差を出力するようにすれば、図28(D)と図28(E)に示された場合とで、同様の差信号が出力される。よって、本発明による方法によれば、従来の方法に比べてより凹凸の検出可能範囲を広げることができる。

【0043】なお、ガラス2の表面形状に変化があるがパターンの拡大や縮小がない場合で、CCDカメラ3aから出力信号における明部分の値が下がったり暗部分の値が上がったりしたときにも、平均化回路44によって平均化された信号には凹凸が現れる。従って、本発明による方法によって、そのような表面形状の変化も検出される。

【0044】この実施の形態では、平均化回路44、最大値抽出回路45、最小値抽出回路46および差演算回路47は、メモリ42に格納されたガラス2の全面に対応した画像信号を逐次的に処理するようにしたが、メモリ42内の2次元画像を一括処理するようにしてもよい。また、検出領域内の明暗を示す信号を平均化する方法に代えて領域内の明暗の標準偏差を出力してもよいし、平均化処理された信号の微分をとってガラス2の表面形状を評価することもできる。

【0045】[例1]次に、接触式測定機による測定結果と、この実施の形態の評価装置における評価を比較した結果について説明する。図7(A)〜(E)は、5枚のガラスをサンプルA〜Eとして、それぞれ、一断面について片面の表面形状を接触式測定機で測定した結果を示す。各サンプルA〜Eは、厚さ0.7mm、300mm角のガラスである。また、被測定物である各サンプルA〜Eには、半ピッチが10〜15mm程度のうねりがある。

【0046】図8(A)〜(E)は、サンプルA〜Eと光軸を30°傾け、CCDカメラ3aにおいてf25のレンズを用い絞りF16という条件での、平均化回路44の出力を示す。使用したチェッカーパターンは白黒の1ピッチが6mmであり、サンプル面上では1画素が1mm強、画像上では1ピッチが5画素程度になるようにした。図8(A)〜(E)に示す結果が得られたそれぞれのサンプルA〜Eは、図7(A)〜(E)に示す結果が得られたそれぞれのサンプルA〜Eと同じものである。

【0047】上述したように、図8(A)〜(E)には、受光パターンの周期が基本周期とずれた部分、すな

わち、ガラスの表面の凹凸がある箇所に対応した部分に山部分または谷部分が現れている。実際には、ガラスの表面形状とパターンの位相との関係に応じて、ガラスの表面の凹部分が図8(A)～(E)における山部分に対応したり谷部分に対応したりする。しかし、山部分に対応した場合も谷部分に対応した場合も、山部分と谷部分との差の絶対値と、ガラスの表面の凹凸の程度との間には相関がある。

【0048】また、図8(A)～(E)は、サンプルの帯状の一領域についての受光パターンの周期が基本周期とずれた部分の分布を示しているが、そのような分布にもとづいてその断面についての表面平坦度を直ちに評価できる。そして、サンプルの全断面についての分布を出力するようにすれば、サンプルの全面的表面平坦度を直ちに評価できる。

【0049】図9は、形状値と測定値との相関を示す説明図である。形状値として、各サンプルの表面形状における隣り合う凸部と凹部の差のうちの最大値(真の値)を用いている。また、測定値として、上述した実施の形態の評価装置において、各サンプルについての差演算回路47から出力された差信号のうちの最大値を用いている。図9に示すように、形状値と測定値とはよく相関している。相関係数は0.81となっている。

【0050】なお、この実施の形態では、2次元のCCDカメラ3aを用いた場合について説明したが、1次元の撮像素子を用いてもよい。図10は光源31としてコントラスト既知の明暗をもったストライプパターンの光を発生するものを用いた場合、ガラス2のある断面を透過して1次元のCCDカメラ(図示せず)の撮像面320に透過光が到達する様子を示す説明図である。図10に示すように、この場合、ガラス2は、1次元の撮像面32に直交する方向に移動されつつ評価が実行される。なお、この場合も、演算装置(図示せず)は、図4に示されたように構成される。また、この場合にも、ガラス2からの反射光を用いることもできる。

【0051】図11は、本発明による表面形状の評価装置の他の構成例を示す構成図である。なお、この実施の形態では、表面形状の評価装置としてのうねり形状の測定装置を示す。図11に示すように、測定装置は、運動する輝点20から発せられた光がガラス(被測定物)2の表面で反射された光を受光して反射像を形成するカメラ3と、カメラ3による反射像の軌跡を入力してうねり形状を算出する計算機等の演算装置4を含む。なお、カメラ3として、エリアカメラ、ラインカメラ、ビデオカメラ、スティルカメラ等いずれの方式のものでも使用可能である。また、フォトセンサを配列させたものなど輝点20の反射像を特定できるものであれば、いずれの受光装置を使用してもよい。

【0052】図12は、この実施の形態における表面形状の評価方法の概略工程を示すフローチャートである。

図2に示すように、この発明による表面形状の評価方法では、まず、移動速度が既知の運動する輝点20のガラス2の表面での反射光をカメラ3で受光し、運動する反射像を得る(ステップS1)。ガラス2の表面にうねりがある場合には、カメラ3で撮像される反射像の軌跡は、うねりの全くない理想的平面が与える反射像の軌跡からずれる。すなわち、理想的平面が与える反射像の軌跡に対して先行したり遅れたりする。

【0053】そこで、得られた反射像の理想的平面による反射像に対するずれ(先行情報または遅延情報)から、ガラス2の表面のうねり形状の傾き(微分値)を算出する(ステップS2)。そして、ガラス2の表面がほぼ平面であることを拘束条件として、積分演算によってうねり形状を得る(ステップS3)。

【0054】次に、図13～図18の説明図を参照して、図11に示された装置および図12に示された表面形状の評価方法について説明する。図13は、被測定物のうねり形状の測定状況を示す説明図である。図13に示すように、輝点20の反射像6は、カメラ3の受光素子5上に結像する。経路7は、輝点20を出射した光がガラス2の表面で反射されて受光素子5に到達するまでの光路を示す。なお、ここでは、輝点20が所定の一定速度で移動する場合を例にする。

【0055】上述したように、ガラス表面にうねりがある場合には、得られた反射像6の各時刻における位置は、理想的表面で反射された光による反射像の位置に対して、先行したり遅れたりする。図14は、反射像6の軌跡が理想的平面による反射像9に対して先行している状況を示す説明図である。また、図15は、反射像6の軌跡が理想的平面による反射像9に対して遅延している状況を示す説明図である。図14および図15において、実線で示される経路7は実際の光路を示している。輝点20から出射した光は、ガラス表面の反射点11で反射された後カメラ3のレンズ中心10を経て受光素子5に到達し反射像6を形成する。

【0056】破線で示される経路8は、ガラス表面が理想的平面である場合において、輝点20から出射した光がガラス表面の反射点12で反射された後カメラ3のレンズ中心10を経て受光素子5に到達する光路を示す。この場合、受光素子5において、図14および図15に示された反射像9が形成される。ただし、反射像9は、ガラス表面が理想的平面であると仮定した場合において形成される像であって、現実形成されるものではない。

【0057】輝点20は所定の速度で移動させられるので、ガラス表面が理想的表面であるならば、反射像9も受光素子5上において所定速度で移動する。輝点20の移動速度が決まっていれば、演算装置4は各時刻において、理想的表面で反射された光による反射像9の位置を認識できる。演算装置4は、理想的表面で反射された光

による反射像9の位置を認識できる。実際に得られた反射像6の位置の反射像9からの遅延量(先行量または遅延量)を知ることができる。

【0058】図16は、反射像6の軌跡が理想的平面による反射像9に対して先行する場合の先行の程度とうねり形状の傾き(微分値)との関係を示す説明図である。また、図17は、反射像6の軌跡が理想的平面による反射像9に対して遅延する場合の遅延の程度とうねり形状の傾き(微分値)との関係を示す説明図である。

【0059】図16および図17において、 α は、レンズ中心10から経路8に延ばしたベクトルを基準とした場合のレンズ中心10から経路7に延ばしたベクトルが形成する角度である。 β は、レンズ中心10から経路8に延ばしたベクトルを基準とした場合のレンズ中心10から鉛直下方に延ばしたベクトルが形成する角度である。 γ は、輝点20から鉛直下方に延ばしたベクトルを基準とした場合の輝点20から経路7に延ばしたベクトルが形成する角度である。そして、 δ は、反射点11の垂線ベクトルを基準とした場合の反射点11におけるうねり表面の法線ベクトルが形成する角度(法線ベクトルの傾き)である。

【0060】いずれの角度も、基準とするベクトルから反時計方向に傾く場合に正の値をとるとする。従って、図6に示された状況において、 $\alpha < 0$ 、 $\delta < 0$ であり、図17に示された状況において、 $\alpha > 0$ 、 $\delta > 0$ である。

【0061】

【数1】

$$\delta = \frac{\alpha - \beta + \gamma}{2}$$

【0062】法線ベクトルの傾き δ は、数1のように表される。うねり形状を $z = f(x)$ なる関数で表現すると、うねり形状の傾き(微分値) $\tan \delta$ は、数2で表される。 x 軸および z 軸は図18に示すようにとられ、 $x = 0$ の点は、例えば、ガラス表面の左端に設定される。

【0063】

【数2】

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx} = \tan \delta$$

$$\Delta(x1) = (f'(x1) + f'(x2)) \times (x2 - x1) / 2$$

$$\Delta(x2) = (f'(x2) + f'(x3)) \times (x3 - x2) / 2$$

$$\Delta(x(n-1)) = (f'(x(n-1)) + f'(x(n))) \times (x(n) - x(n-1)) / 2$$

【0070】うねり形状は、 $f'(x)$ を数値積分することにより求めることができる。具体的には、演算装置

【0064】従って、うねり形状 z は、数3のように求められる。数3において、 C は積分定数である。フラットパネルディスプレイに用いられるガラス2の表面形状は、細かなうねりがあるかもしれないがほぼ平坦である。従って、数4に示す関係が成り立つと考えてよい。すなわち、ガラス表面におけるうねりの平均値は0であるという条件を付加する。すると、数3における積分定数 C は、数4の拘束条件を満足するように決定することができる。ただし、数4において、理想的表面を $z = 0$ の平面としている。

【0065】

【数3】

$$z = \int f'(x) dx + C$$

【0066】

【数4】

$$\int f(x) dx = 0$$

【0067】具体的には以下のような処理が行われる。演算装置4は、カメラ3から各時刻における受光素子5上の反射像6を入力し、各時刻における反射像6の位置情報を得る。また、輝点20の移動速度はあらかじめ定められている一定速度であるので、各時刻における輝点20の位置および理想的平面による反射像9の位置情報も認識できる。反射像6、9の受光素子5における位置は、ガラス表面における反射点11、12の位置に対応している。

【0068】また、レンズ中心10の位置も定まったものである。各時刻における輝点20の位置が認識でき、各時刻における反射点11、12の位置は反射像6、9の受光素子5における位置から決定でき、また、レンズ中心10の位置も既知であるので、演算装置4は、各時刻における各角度 α 、 β 、 γ を算出することができる。従って、数1にもとづいて各時刻における δ を計算できる。なお、各時刻における反射点11の位置は、数2～数4における x の値である。

【0069】各時刻における δ が算出されたので、演算装置4は、容易に各時刻における $\tan \delta (= f'(x))$ の値を算出できる。各時刻における $f'(x)$ が、 $f'(x1)$ 、 $f'(x2)$ 、 $f'(x3)$ 、 \dots 、 $f'(xn)$ のように n 個得られたとし、 $\Delta(x)$ を以下のように定義する。

4は、

$$f(xn) = \Delta(x1) + \Delta(x2) + \dots + \Delta(xn)$$

(n-1))

を算出することにより、各xにおけるうねりの高さを得る。

$$C = -(f(x_1) + f(x_2)) \times (x_2 - x_1) / 2 \\ - (f(x_2) + f(x_3)) \times (x_3 - x_2) / 2$$

$$- (f(x_{(n-1)}) + f(x_n)) \times (x_n - x_{(n-1)}) / 2$$

のように定めることにより、数4を満たすうねり形状を得ることができる。

【0072】[例2]次に、この実施の形態の表面形状の評価方法の妥当性をシミュレーションによって評価した例を示す。このシミュレーションでは、図19に示すような光学系を想定した。図19において、aは被測定物2の端部とレンズ中心10からおろした垂線との間の距離、bは被測定物1の幅、cは輝点20とレンズ中心10との間の距離、hは理想的平面（被測定物2の表面のうねりの平均的平面）からのレンズ中心10の高さである。

【0073】シミュレーションにおいて、輝点20、理想的平面およびレンズ中心10の位置関係は既知であるとした。具体的には、a=450mm、b=250mm、c=1300mm、h=28.43mmとした。また、被測定物2の表面のうねり形状を振幅 a_1 、 a_2 、波長 L_1 、 L_2 を有する数5で表される関数で表現した。

【0074】

【数5】

$$z = a_1 \sin \left[\frac{2\pi x}{L_1} \right] + a_2 \sin \left[\frac{2\pi x}{L_2} \right]$$

【0075】図20(A)は、数5において $a_1 = 0.00005\text{mm}$ 、 $L_1 = 10\text{mm}$ 、 $a_2 = 0.0\text{mm}$ 、 $L_2 = 20.0\text{mm}$ とした場合のうねり形状を示す波形図である。図20(B)は、図19に示された位置関係を有する光学系および図20(A)に示された表面形状を有する被測定物を対象として上述した測定方法を実施した場合に得られたうねり形状を示す波形図である。図20(B)に示すうねり形状は、図20(A)に示されたうねり形状とほぼ一致している、すなわち、本発明による方法によって、うねり形状が正しく測定できることが確認された。

【0076】図21(A)は、数5において $a_1 = 0.00005\text{mm}$ 、 $L_1 = 10\text{mm}$ 、 $a_2 = 0.00005\text{mm}$ 、 $L_2 = 20.0\text{mm}$ とした場合のうねり形状を示す波形図である。図21(B)は、図19に示された位置関係を有する光学系および図21(A)に示された表面形状を有する被測定物を対象として上述した測定方法を実施した場合に得られたうねり形状を示す波形図である。図21(B)に示すうねり形状は、図21(A)

【0071】このように示されたうねり形状は必ずしも数4を満たすとは限らないが、演算装置4は、数3における積分定数Cを、

に示されたうねり形状とほぼ一致している、すなわち、本発明による方法によって、表面形状が正しく測定できることが確認された。

【0077】また、本発明による表面形状の評価方法では、観測値にもとづく角度算出計算および積分のための加減算処理を行えばよいので、演算装置4の演算量はさほど多くない。

【0078】図22は、移動する輝点20の一実現例を示す説明図である。この例では、レーザ光源21からの光を移動可能なミラー22で反射させ、反射光がスクリーン23に照射されるようにする。このようにした場合、反射光のスクリーン23における照射点を、輝点20として使用することができる。ここで、スクリーン23上で輝点20が等速で移動するようにミラー22を移動させれば、等速で移動する輝点20が実現される。なお、図22にはミラー22が移動していく形態が示されているが、実際にミラー22が移動する形態に代えて、ポリゴンミラーのような回転ミラーと補正ミラーを用いて、ミラー移動を容易に実現することができる。

【0079】なお、上記の実施の形態では、ガラス2の表面における異なる地点による各反射像6を形成可能な基準体であって位置が特定される基準体として、等速で運動する輝点20を用いた例について説明した。しかし、移動速度があらかじめ決められていれば、輝点20の移動速度が等速でなくても本発明を適用できる。また、基準体として、そのように作成された輝点20に限らず、自身が移動する物理的な点（物点）を使用してもよい。

【0080】物点として、例えば、そのものが移動する点光源や、照明環境下に置かれた移動可能な点を用いることができる。物点として移動する点光源を用いた場合には反射像6は明点となり、物点として照明環境下に置かれた移動可能な点の場合には反射像6は暗点となる。なお、輝点および物点は数学的な意味での点ではなく、現実には、ある程度の広がりをもつ領域となる。

【0081】上記の実施の形態では一次元のうねり形状を測定する場合について説明したが、被測定物2の全表面にわたってうねり形状を測定する場合には、例えば、図23に示すように、被測定物2を経路7と直交する方向に移動させればよい。そして、演算装置4は、被測定物2の表面の各列（図23において破線間で示される仮想的な各列）について上述した演算を実施する。なお、

図23には被測定物1が移動する場合を示したが、運動する輝点20を、経路7と直交する方向に移動させてもよい。

【0082】図24は、この発明の他の実施の形態の表面形状の評価装置の概略構成例を示す構成図である。この実施の形態では、ガラス（被測定物）2の表面における異なる地点による各反射像6を形成可能な基準体であって位置が特定されうる基準体として、運動する輝点20に代えて、輝度ピッチが既知であるストライプパターン61が用いられる。ストライプパターン61の各高輝度部分62からの光のガラス表面による反射像はカメラ3で撮像された後、演算装置4に入力する。

【0083】ストライプパターン61において輝度ピッチは既知であるから、演算装置4は、カメラ3の受光素子5における理想的平面による反射像9の各位置を認識することができる。演算装置4は、理想的平面による反射像9の各位置からの実際の反射像6の位置のずれにもとづいて、上述した演算によってうねり形状を算出する。このように、移動する輝点20の時間情報（各時刻における反射像6、9の位置情報）に代えて、ストライプパターン61の空間情報（各高輝度部分62に対応した反射像6、9の位置情報）を用いても、ガラス表面のうねり形状を測定することができる。

【0084】[例3]次に、この実施の形態の方法によって被測定物として板状のガラスを実測した例を示す。この例では、図19に示された光学系位置関係を用い、具体的には図24に示された装置を用いた。図19において、aは被測定物2の端部とレンズ中心10からおろした垂線との間の距離、bは被測定物1の幅、cは輝点20とレンズ中心10との間の距離、hは理想的平面（被測定物2の表面のうねりの平均的平面）からのレンズ中心10の高さである。

【0085】ストライプパターン61の設置位置、理想的平面、およびレンズ中心10の位置関係は既知であるとした。具体的には、 $a=225\text{mm}$ 、 $b=300\text{mm}$ 、 $c=750\text{mm}$ 、 $h=60\text{mm}$ とした。また、使用したストライプパターン61の高輝度部および低輝度部の1周期を1mmとした。従って、被測定物2の中心上では1周期は0.5mmである。そして、カメラ3において絞りF16、焦点距離55mmのレンズを用いた。ストライプパターン61における画素分解能は約0.09mm、被測定物2の中心上で画素分解能は約0.04mmとなり、ストライプの1周期は11～12画素に相当する。

【0086】図25(A)は、接触式測定機によって被測定物2の表面形状を測定した結果を示す。また、図25(B)は、同じ被測定物2に対してこの実施の形態による方法を実施して得られた表面形状を示す。図25(B)に示された表面形状は、図25(A)に示された表面形状にはほぼ一致しているので、本発明によって表面

形状が正しく測定できているとわかる。

【0087】図1および図4に示された実施の形態における方法を実施した例では、すなわち、図7に示された各形状のサンプルの表面形状を測定した例では、各サンプルにおいて半ピッチが10～15mm程度のうねりがあるのに対して、パターン61の白黒の1ピッチが6mmであるような比較的両者が近接している条件で測定が行われた。

【0088】そのような条件では、基本周期からのずれ量と表面形状との間に直接相関があるので凹凸のレベルに高い相関がある。従って、図7に示された各形状のサンプルの表面形状を測定した例ではサンプル面で1画素が1mm程度になるようにしたが、そのような解像度の低い条件でも十分に凹凸レベルを評価することができる。

【0089】一方、上記の例（図25(B)に示された波形を得た例）のように、被測定物2の中心上での1周期が0.5mmというような、うねりの半ピッチに比べて十分小さい場合には、既に説明したような最大値と最小値との差を算出するまでもなく、表面形状の変化の絶対値（うねり形状の傾きの絶対値）は基本周期からのずれ量の絶対値に関しても相関がある。よって、そのような場合には、画像から算出した基本周期のずれ量の絶対値をピーク毎にプラスマイナス反転させて積分することによって、表面形状を算出することができる。このような算出方法によれば計算が簡易化される。なお、ピーク毎に正負反転させるのは、絶対値で得られるデータを本来の凹凸に関するデータに戻すためである。また、ずれ量の絶対値に代えてずれ量の二乗値を用いても、値は異なるものの、同様の結果が得られる。

【0090】[例4]図26(B)は、例3と同一の条件で画像を撮像した場合の基本周期からのずれ量の絶対値を示す。ただし、この例では、演算装置4は、基本周期でスムージング処理を施して平均化された値を算出し、算出された値と、5周期分の平均であるシェーディング信号との差の絶対値を、基本周期からのずれ量の絶対値とする。すなわち、平均化信号の増減の絶対値を、明暗周期の基本周期からのずれ量とする。

【0091】被測定物2の変形によって基本周期からのずれが生ずるときには、パターン61の位相によって、スムージング幅に明るい部分が多い場合と暗い部分が多い場合とのどちらの可能性もある。そこで、どちらの場合も評価できるように絶対値をとっている。図26(A)は、接触式測定機によって被測定物2の表面形状を測定し、その微分の絶対値を算出した結果を示す。

【0092】また、図27(A)は、接触式測定機による被測定物2の表面形状の測定結果を示す。図27(B)は、図26(B)に示された結果を極小値毎に正負反転し、それを積分することによって得られた形状を示す。両者の形状は酷似しているので、基本周期のずれ

量の絶対値(または二乗値)をピークにプラスマイナス反転させて積分することによって、表面形状を評価できることがわかる。

【0093】なお、上記の各実施の形態では被測定物としてガラス2を例にとったが、本発明は、光を反射することができる表面をもつものであれば、ガラス2以外の被測定物の表面のうねり形状を測定する場合にも適用できる。

【0094】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、表面形状の評価方法および評価装置を、透過光または反射光による受光画像における明暗周期の基本周期からのずれにもとづいて被評価物体の表面形状を評価するものとしたので、ガラス等の板状物の表面形状における歪み等を短時間でより精度よく評価できる。また、受光画像における基本周期に対応した領域の明暗を平均化し、平均化された信号にもとづいて被評価物体の表面形状を評価するように構成した場合には、従来の方法または装置に対して、歪みの検出可能範囲を広げることができる効果がある。

【0095】また、表面形状の評価方法および評価装置を、被測定物が理想的平面を有する場合の各反射像に対する基準体の各観測反射像のずれ量を得て、各ずれ量から被測定物のうねり形状の傾きを求め、被測定物の表面がほぼ平坦であることを拘束条件としてうねり形状の傾きを積分してうねり形状を求めるように構成した場合には、非接触で短時間に高精度でうねり形状を求めることができる。従って、大面積の被測定物の全面にわたってリアルタイムでうねり形状を求めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明による表面形状の評価装置の一構成例を示す構成図である。

【図2】 本発明による表面形状の評価装置の他の構成例を示す構成図である。

【図3】 パターンの種類を示す説明図である。

【図4】 演算装置の一構成例を示すブロック図である。

【図5】 (A)はガラスの一断面を透過して撮像面の一行に到達する光を示し、(B)はチェッカーパターンの一部を断面D0～D14とともに示し、(C)は(B)に示されたチェッカーパターンに対応する撮像面の様子を示す説明図である。

【図6】 受光パターンの明暗を示す画像信号および平均化信号の一例を示す波形図である。

【図7】 各サンプルの一断面について片面の表面形状を接触式測定機で測定した結果を示す説明図である。

【図8】 各サンプルについての平均化回路の出力を示す説明図である。

【図9】 形状値と測定値との相関を示す説明図である。

【図10】 本発明による表面形状の評価装置のさらに他の構成例を示す構成図である。

【図11】 本発明による表面形状の評価装置のさらに他の構成例を示す構成図である。

【図12】 本発明による表面形状の評価方法の概略工程を示すフローチャートである。

【図13】 被測定物のうねり形状の測定状況を示す説明図である。

【図14】 観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して先行している状況を示す説明図である。

【図15】 観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して遅延している状況を示す説明図である。

【図16】 観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して先行する場合の先行の程度とうねり形状の傾きとの関係を示す説明図である。

【図17】 観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して遅延する場合の遅延の程度とうねり形状の傾きとの関係を示す説明図である。

【図18】 x軸およびz軸の定義を示す説明図である。

【図19】 シミュレーションにおいて用いられた光学系を示す説明図である。

【図20】 うねり形状の一例および本発明による表面形状の評価方法のシミュレーションで得られたうねり形状を示す説明図である。

【図21】 うねり形状の他の例および本発明による表面形状の評価方法のシミュレーションで得られたうねり形状を示す説明図である。

【図22】 移動する輝点の一実現例を示す説明図である。

【図23】 被測定物の全表面にわたるうねり形状の測定の一実施例を示す説明図である。

【図24】 この発明の他の実施の形態のうねり形状の測定装置の概略構成例を示す構成図である。

【図25】 (A)は、接触式測定機によって被測定物の表面形状を測定した結果を示し、(B)は、例3において同じ被測定物に対して本発明による方法を実施して得られた表面形状を示す説明図である。

【図26】 (A)は、接触式測定機によって被測定物の表面形状を測定しその微分の絶対値を算出した結果を示し、(B)は、例4において画像を撮像した場合の基本周期からのずれ量の絶対値を示す説明図である。

【図27】 (A)は、接触式測定機による被測定物の表面形状の測定結果を示し、(B)は、図26(B)に示された結果を極小値毎に正負反転しそれを積分することによって得られた形状を示す説明図である。

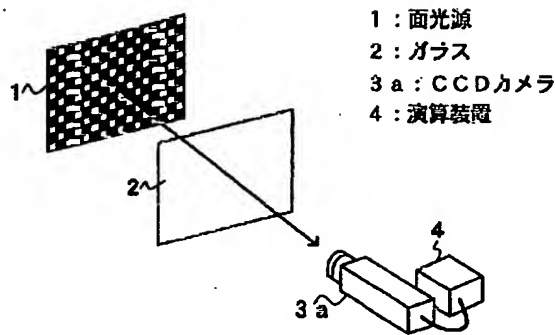
【図28】 従来の表面形状の評価方法を説明するための説明図である。

【符号の説明】

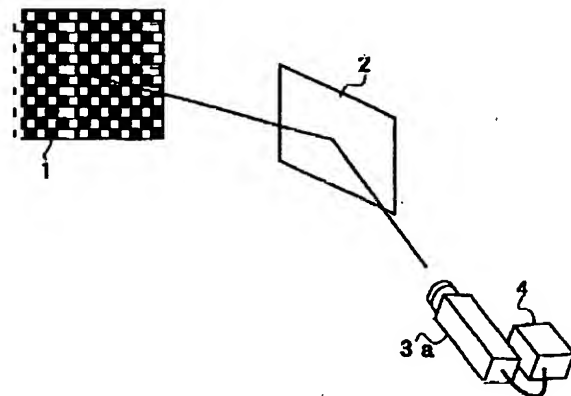
- 1 面光源
2 ガラス（被測定物）
3 カメラ
3a CCDカメラ
4 演算装置
4a 撮像面
6, 9 反射像

- 11, 12 反射点
20 輝点
43 シェーディング回路
44 平均化回路
45 最大値抽出回路
46 最小値抽出回路
47 差演算回路

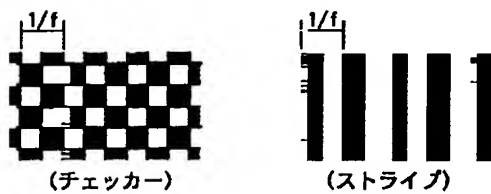
【図1】



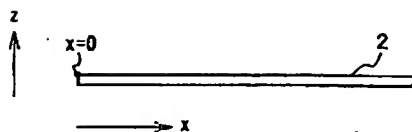
【図2】



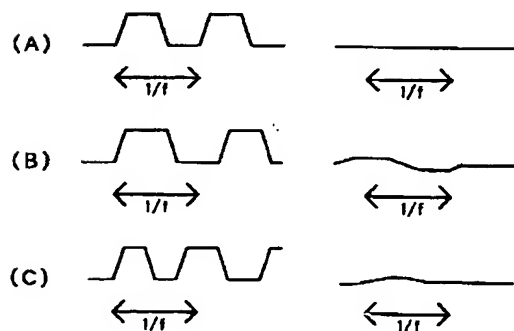
【図3】



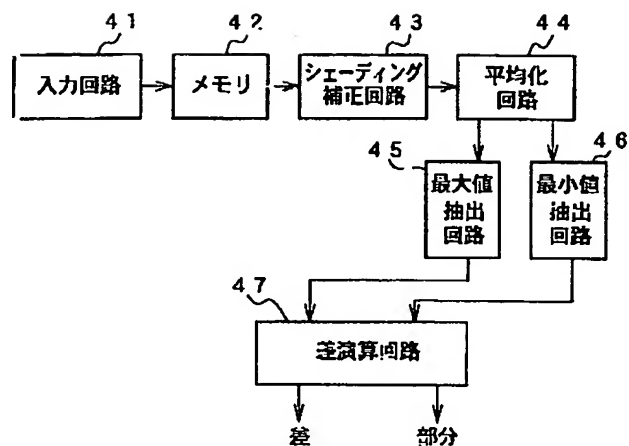
【図18】



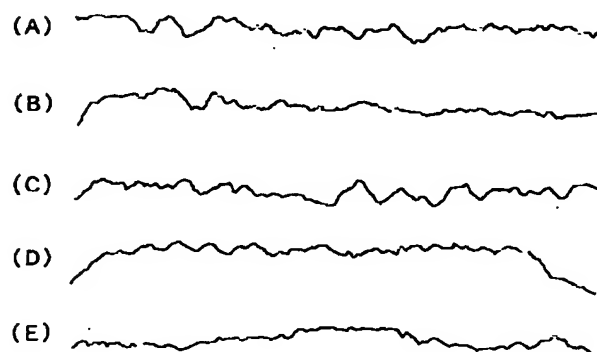
【図6】



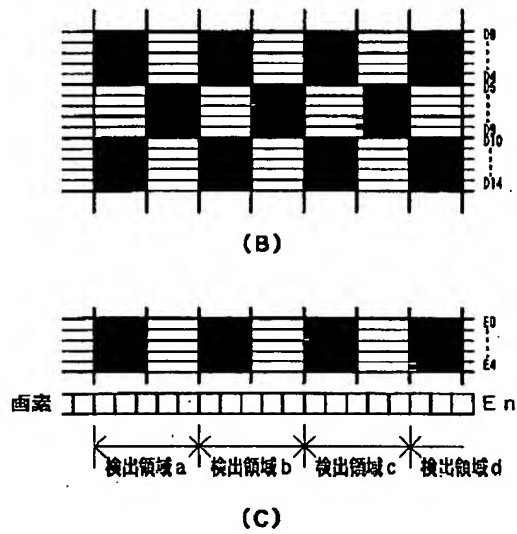
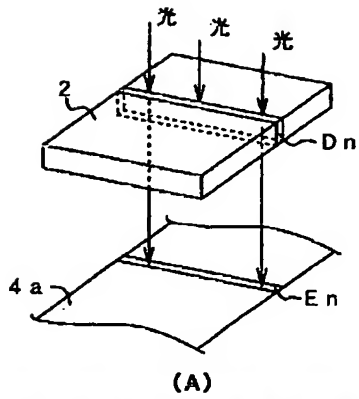
【図4】



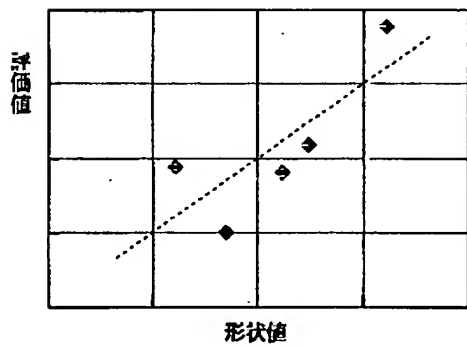
【図7】



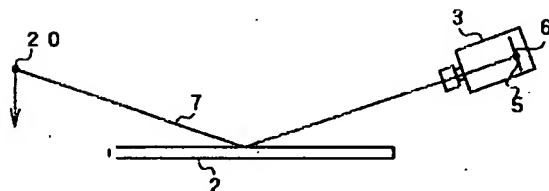
【図5】



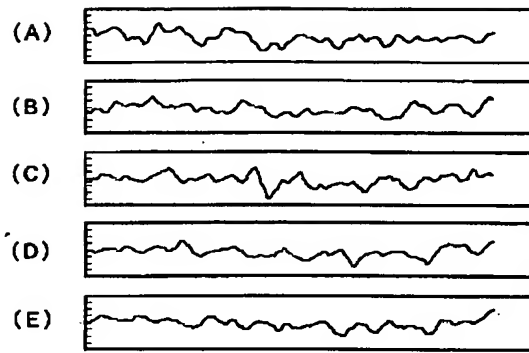
【図9】



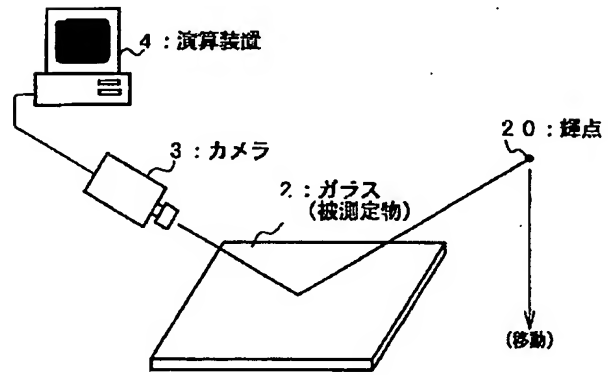
【図13】



【図8】

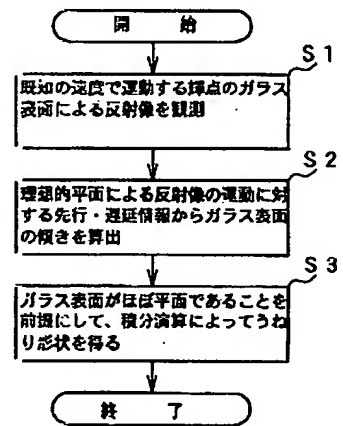
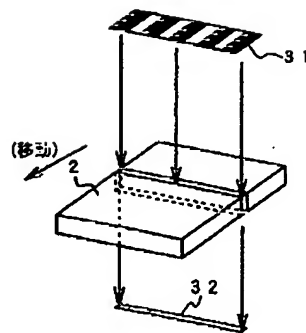


【図11】

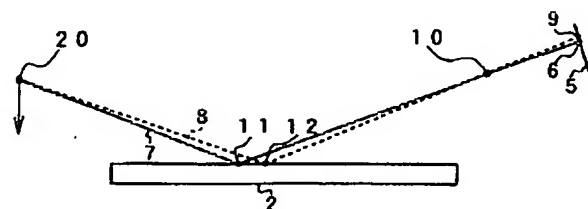


【図12】

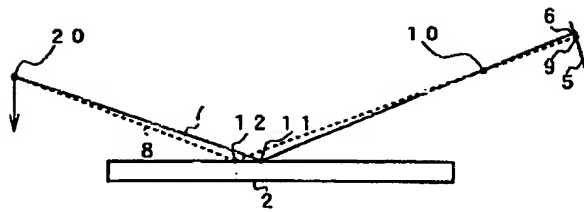
【図10】



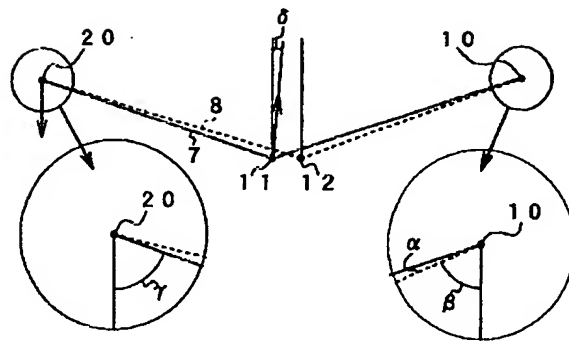
【図14】



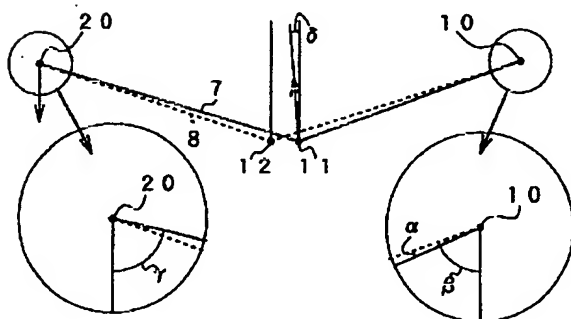
【図15】



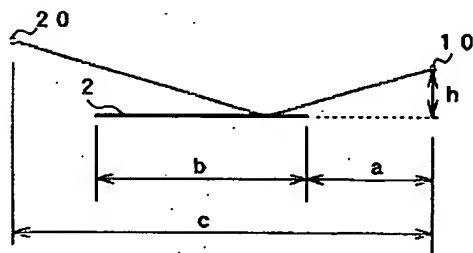
【図16】



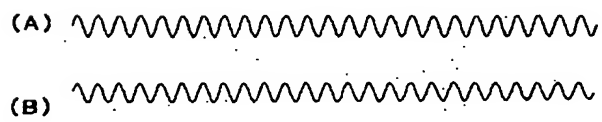
【図17】



【図19】



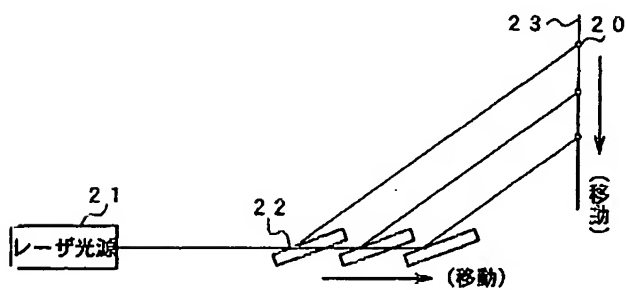
【図20】



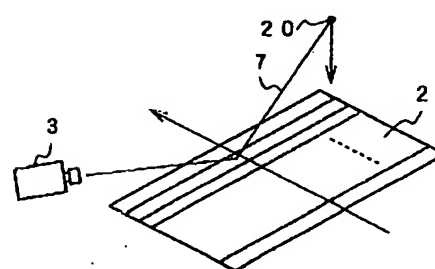
【図21】



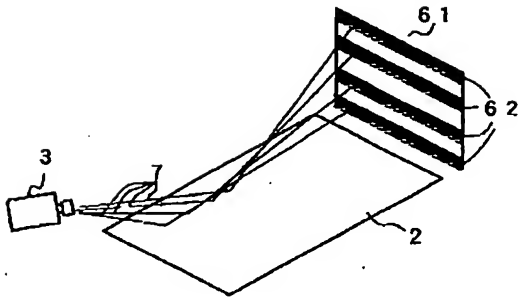
【図22】



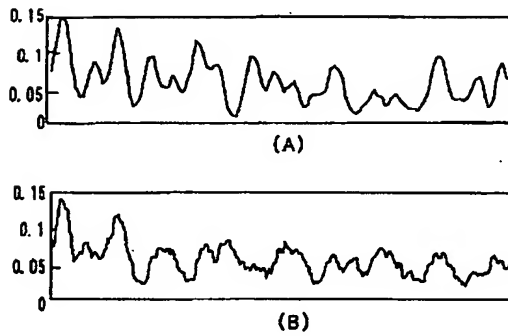
【図23】



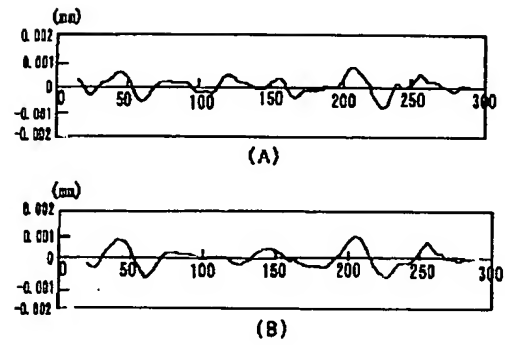
【図24】



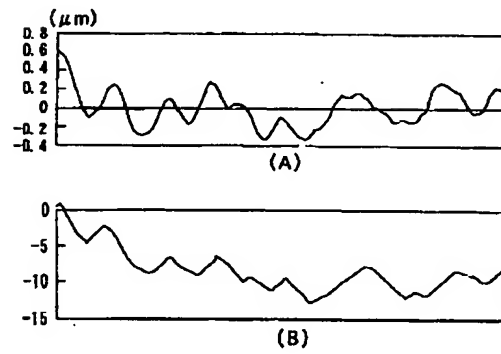
【図26】



【図25】



【図27】



【図28】

